



www.coforchange.eu

Mise en place de piézomètres et pré-étude de la profondeur d'enracinement (RCA)

**1ère campagne du Workpackage WP3
Code WP3-1 : 1 – 9 décembre 2010**



Alain Laraque, Vincent Freycon
28 février 2011

SOMMAIRE

1. OBJECTIFS DE LA CAMPAGNE

2. PARTICIPANTS

3. EQUIPEMENTS DE TERRAIN

3.1. Equipements apportés

3.2. Equipements laissés sur place en décembre 2010

4. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE

4.1. Programme

4.2. Sites d'étude

4.3. Prospection nappes phréatiques et installation piézomètres

4.4. Etude préliminaire de l'enracinement des arbres

4.5. Synthèse

4.6. Suivi mensuel de la teneur en eau à Mbaïki

4.7. Charbons de bois

4.8. Prélèvements de sols pour analyses au Beryllium (Alain)

5. PARTENARIAT

6. FINANCEMENT DE LA CAMPAGNE

7. CONCLUSIONS

REMERCIEMENTS

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

LEXIQUE

Photos de couverture

Gauche : Piézomètre T2 installé le 4/12/2010 chez M. Fidèle Baya à Mbaïki (quartier Bombolet 2)

Droite : Sondage tarière effectué à 5 m de profondeur à Ngotto pour prélever des racines

Liste des Figures

Figure 1 : Carte de situation générale de la zone d'étude

Figure 2 : Pluviogramme moyen interannuel 2007-2010 à Mbaïki/ARF

Figure 3 : Pluviogramme mensuel à Ngotto/Bufle Rouge en 2010

Figure 4 : Carte géologique de la zone d'étude

Figure 5 : Image SRTM de la zone d'étude de Mbaïki

Figure 6 : Image SRTM de la zone d'étude de Ngotto

Figure 7 : Schéma illustrant le plancher de la nappe lié au cours d'eau Ipembé et les variations de sa profondeur dans les puits.

Figure 8 : Schéma illustrant la présence de gneiss dans une zone considérée comme grès de Carnot.

Figure 9 : Schéma illustrant l'état des connaissances actuelles sur l'enracinement et la profondeur de la nappe (a) à Mbaïki, sur grès-quartzites (b) à Ngotto, sur grès de Carnot.

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Chronogramme de la campagne

Tableau 2 : Caractéristiques des tubes et puits de Mbaïki où sera suivie la profondeur de la nappe

Tableau 3 : Premières mesures du suivi de la profondeur de la nappe.

Tableau 4 : Surface des différentes unités de sol du dispositif de Mbaïki.

Tableau 5 : Poids des racines à l'état sec (Mbaïki vs Ngotto).

Tableau 6 : Contrôle qualité des données de suivi de la teneur en eau

Liste des Annexes

Annexe 1 : Programme détaillé de la campagne WP3-1

Annexe 2 : Relevés GPS

Annexe 3 : Planche photos et légendes

Annexe 4 : Tableau de suivi de la profondeur des nappes laissé à Fidèle Baya (Mbaïki)

Annexe 5 : Localisation des sondages tarière Mbaïki-T1 et Mbaïki-T2

Annexe 6 : Environnement des sondages tarière

Annexe 7 : Comparaison visuelle de l'enracinement des arbres Mbaïki vs Ngotto

Annexe 8 : Proposition d'un sujet de stage « Profondeur d'enracinement »

Annexe 9 : Echantillons de charbons de bois observés et prélevés en vue d'éventuelles datations au 14C et analyses d'anthracologie

1. OBJECTIFS DE LA CAMPAGNE

Cette campagne est la première du WorkPackage WP3 (Disponibilité en eau des sols et de leur sensibilité aux variations du régime pluviométrique et des nappes) dans le cadre du projet CoForChange. Ce projet cherche à expliquer les variations spatio-temporelles des peuplements forestiers dans le nord-ouest de la cuvette centrale du bassin du Congo (RCA, Congo et Cameroun) en fonction des facteurs du milieu et des perturbations passées.

Les objectifs de cette campagne étaient :

- (i) de repérer la profondeur des nappes phréatiques et d'installer des sondes piézomètres au sein de deux dispositifs d'étude (Mbaïki et Ngotto ; Fig. 1) dans le bassin de la Lobaye (ouest de Bangui) en vue d'étudier leur marnage (ou variations verticales) au cours des cycles pluviométriques,
- (ii) de collecter tous types de données historiques et physiographiques (repérage hydrologiques, données pluviométriques actuelles et passées,...) permettant de comprendre la variation des nappes,
- (iii) de réaliser une étude préliminaire concernant l'enracinement des arbres sur grès de Carnot vs grès-quartzites.

La finalité de l'étude est d'apprécier une éventuelle influence des eaux souterraines sur la répartition des peuplements forestiers, sachant que la forêt sempervirente se trouve sur des sols sableux sur la formation des grès de Carnot (zone de Ngotto) et que la forêt semi-décidue se trouve sur des sols sablo-argileux sur la formation des grès-quartzites (zone de Mbaiki).

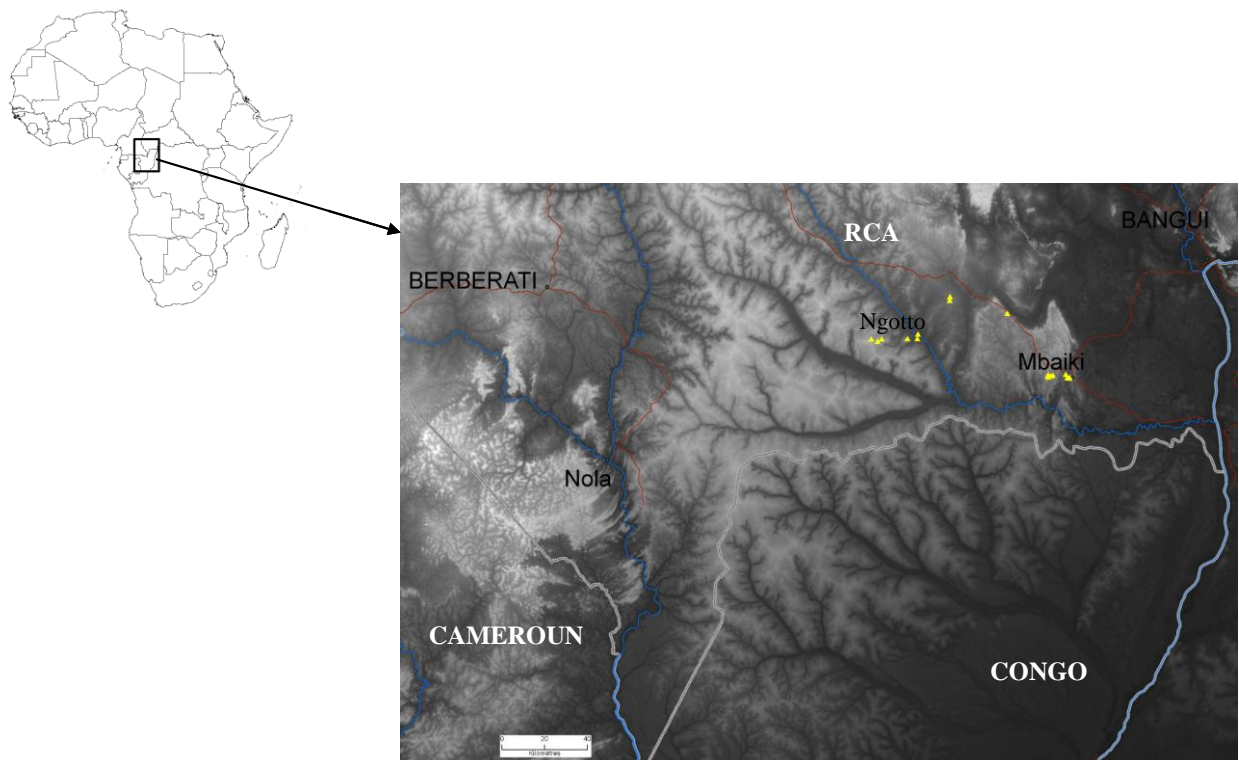


Figure 1: Carte de situation générale de la zone d'étude.
Le fonds topographique correspond à une image SRTM à 90 m de résolution.

2. PARTICIPANTS

Les personnes suivantes ont participé à cette mission :

- ✚ Alain Laraque - Chercheur Hydrologue à l'IRD – UMR LMTG/Toulouse
- ✚ Jean Bosco Kambelé - Chauffeur à la Direction Générale de l'Hydraulique à Bangui
- ✚ Jean-Claude Nambaye - Chef service Hydrologie-Hydrogéologie à la Direction Générale de l'Hydraulique à Bangui
- ✚ Vincent Freycon - Chercheur Pédologue au CIRAD à Montpellier

3. EQUIPEMENTS DE TERRAIN

3.1. EQUIPEMENTS APPORTES

Les équipements suivants ont été apportés de France ou achetés(*) à Bangui :

- 1 tarière acier de 10 cm de diamètre avec 4 m de rallonges d'1 m de long chacune
- 4 Orphéus Mini (OTT) dotés chacun de 12 m de cables
- 1 cable RS232-IR et 1 connecteur RS232-USB
- 1 PC équipé des logiciels d'exploitation (Orphéus Mini et HYDRAS3) des Orphéus Mini
- 4 capuchons métal pour Orphéus + 4 clés métal pour leurs ouvertures
- 4 ensembles annulaires en métal pour la fixation des Orphéus
- 1 PDA TDS/RECON (OTT) + cable liaison PC
- 1 sonde lumineuse (OTT) avec 25 m de cable
- 1 mini-scie électrique à batterie
- 1 GPSmap 60CSx GARMIN (Ap = +/- 3 m), utilisant le système WGS 84
- 22 m de tubes PVC crépinés de 4 cm de diamètre (par tronçons de 2m) (*)

3.2. EQUIPEMENTS LAISSES SUR PLACE A LA FIN DE LA MISSION, DECEMBRE 2010

A Mbaiki/ARF (F. Baya) :

- 1 tarière acier de 10 cm de diamètre avec 4 m de rallonges d'1 m de long chacune
- 1 sonde lumineuse (OTT) avec 25 m de cable
- 1 Orphéus Mini (OTT n°49) doté de 12 m de cable (installé au P4)
- 1 capuchon métal pour OrphéusMini sur P4

A la DGH (J.-C. Nambaye) :

- 20 m de tubes PVC crépinés de 4 cm de diamètre (par tronçons de 2m)
- 1 cable IR-RS232 et 1 connecteur RS232-USB
- 2 Orphéus Mini (OTT n°50 et 53) doté chacun de 12 m de cable
- 2 capuchons métal pour Orphéus Mini
- 2 clé métal pour capuchons métal pour Orphéus Mini
- 2 ensembles annulaires de fixation pour Orphéus Mini
- 1 PDA TDS/RECON + cable liaison PC (OTT)

4. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE

4.1. PROGRAMME

Le Tableau 1 présente le chronogramme de la campagne WP3-1, tandis que l'Annexe 1 donne le programme détaillé des activités réalisées durant cette campagne.

Tableau 1: Chronogramme de la campagne

	Lieux	Montpellier→Bangui	Bangui	Bangui→Mbaiki	Mbaiki	Mbaiki→Ngotto	Ngotto	Ngotto→Mbaiki→Bangui	Bangui	Bangui→Montpellier	TOTAL
Agents	Sigle	1 - décembre	2 - décembre	3 - décembre	4 - décembre	5 - décembre	6 - décembre	7 - décembre	8 - décembre	9 - décembre	9 jours
Alain Laraque	AL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	9
Vincent Freycon	VF	+	+	+	+	+	+	+	+	+	9
Jean Claude Nambaye	JCN			+	+	+	+	+			6
Jean Bosco Kambelé	JBK			+	+	+	+	+			6
N° de personnes	4	2	2	4	4	4	4	4	3	2	

Notre mission a été réalisée durant la saison sèche (Fig. 2, Fig. 3).

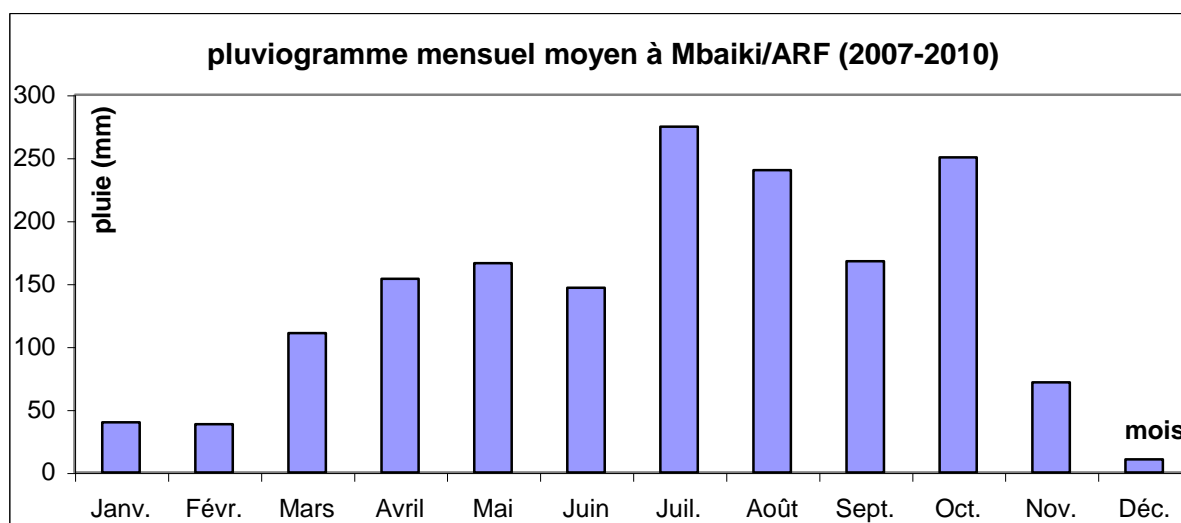


Figure 2 : Pluviogramme moyen interannuel 2007-2010 à Mbaïki/ARF

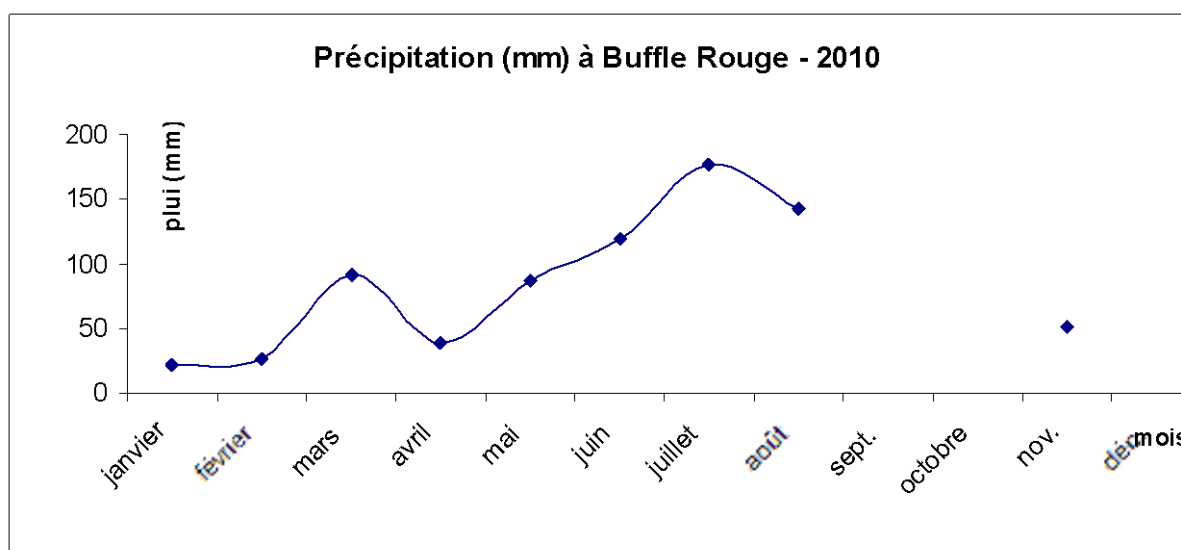


Figure 3 : Pluviogramme mensuel à Ngotto/Buffle Rouge en 2010

4.2 SITES D'ETUDE

Nous avons travaillé sur deux sites d'étude qui se différencient par leurs substrats géologiques : Mbaïki sur grès-quartzites et Ngotto sur grès de Carnot (Fig. 4). Les points caractéristiques de ces deux sites (puits, sondages tarière, cours d'eau, ...) sont synthétisés dans l'Annexe 2 (relevés GPS), l'Annexe 3 (Photos) et les Figures 5 et 6 (localisation sur image SRTM à 90 m de résolution).

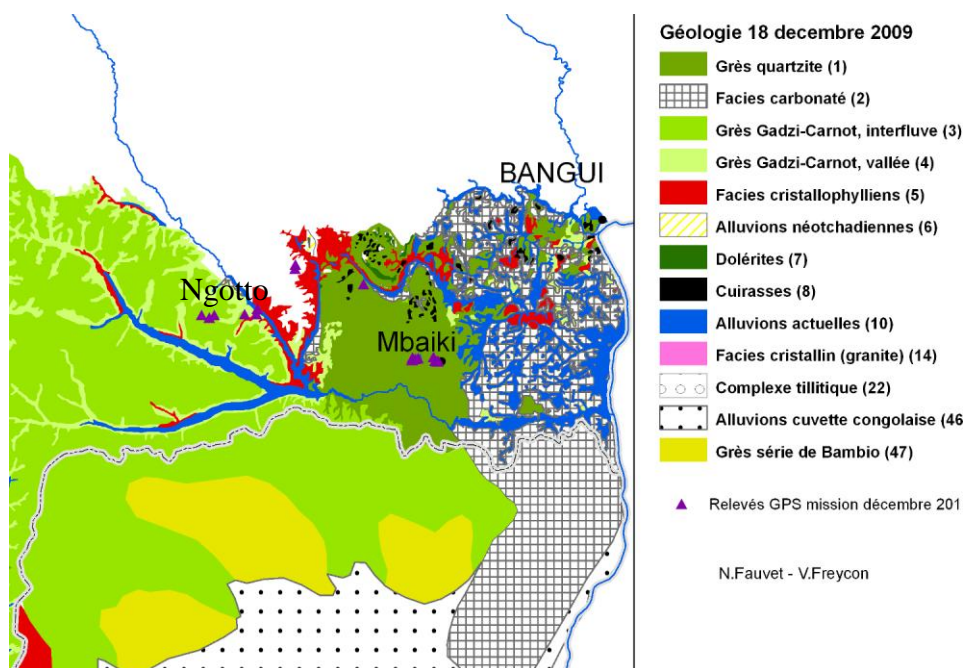


Figure 4 : Carte géologique de la zone d'étude

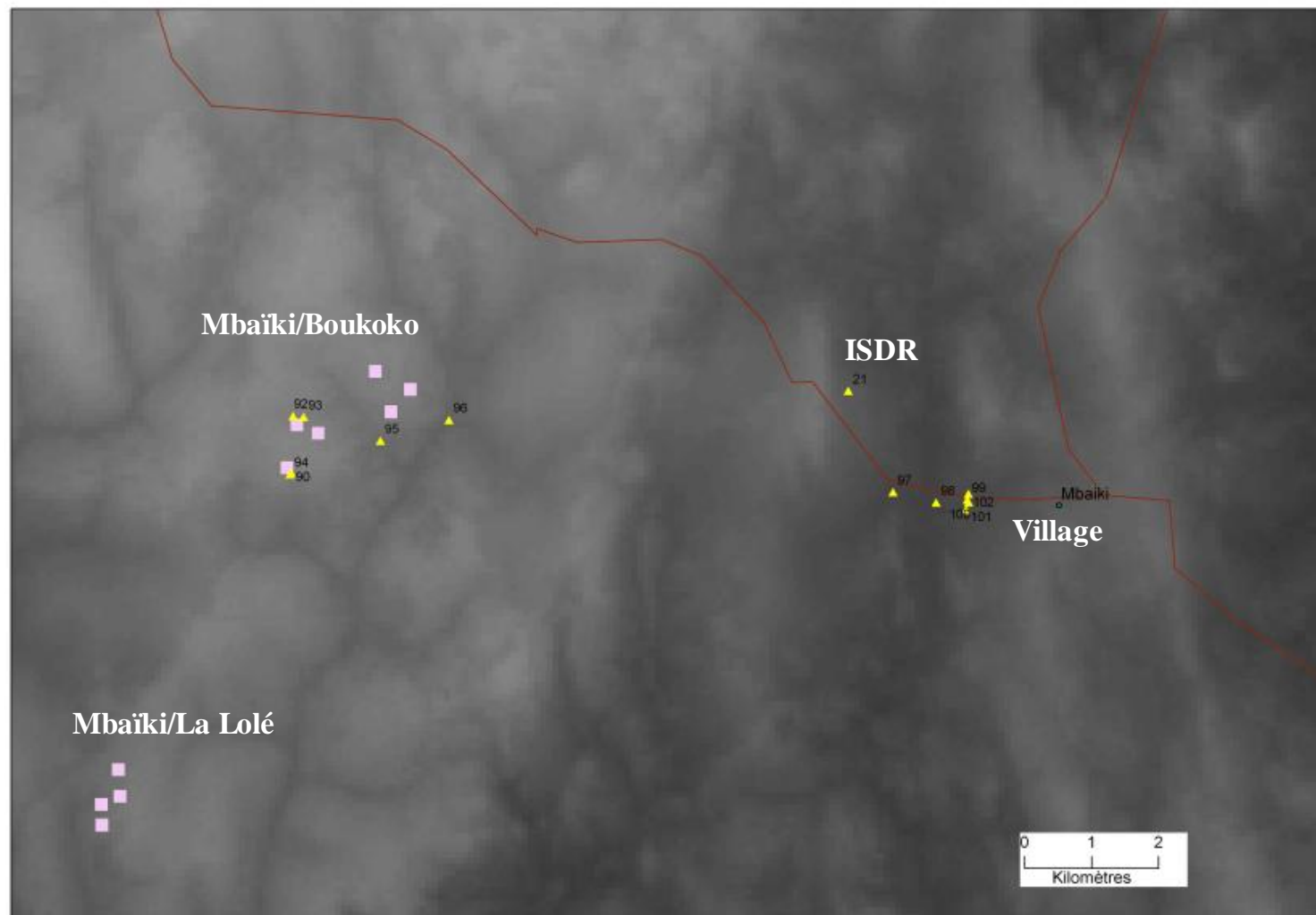


Figure 5 : Image SRTM de la zone d'étude de Mbaïki. Les numéros correspondent à Id_GPS de l'Annexe 2

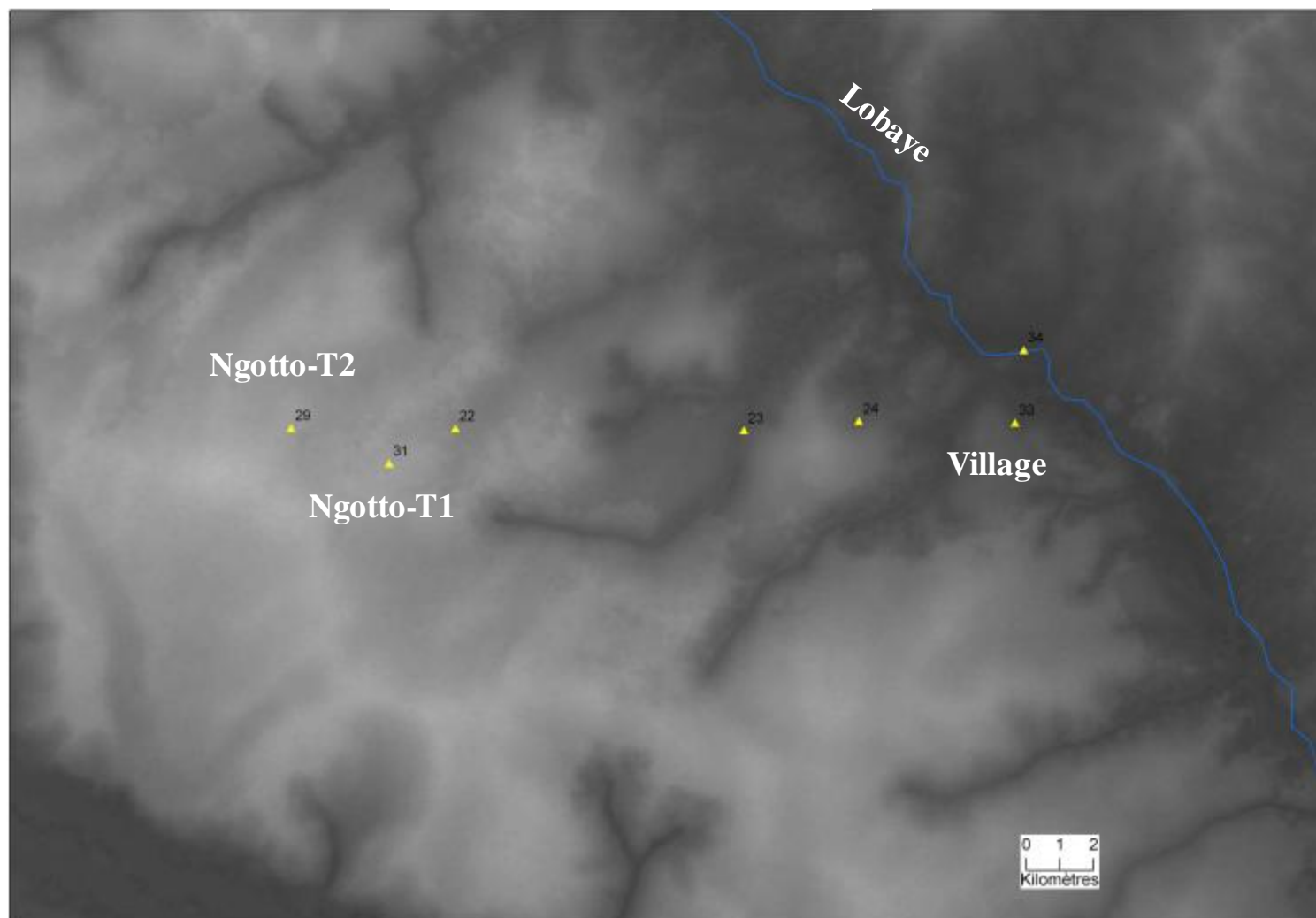


Figure 6 : Image SRTM de la zone d'étude de Ngotto. Les numéros correspondent à Id_GPS de l'Annexe 2

Tableau 2 : Caractéristiques des tubes et puits de Mbaïki où sera suivie la profondeur de la nappe

Id site	Type	Caractéristiques	Profondeur totale (m)	Hauteur bordure* 3 (cm)	Suivi		Id photo	Id GPS	Altitude GPS (m)
					manuel* ⁴	auto			
T1	Tube* ¹	Mbaïki, dispositif forestier, Zone tampon de la parcelle 5, Arbre 823 Installation le 3/12/2010 Tube de 2 m dépassant de 27 cm du sol	170	27	X		1	93	572
T2	Tube* ¹	Mbaïki, dispositif forestier, Zone tampon de la parcelle 4, Arbres 807 et 466 Installation le 3/12/2010 Tube de 2 m au ras du sol	200	0	X		2	94	587
P1	Puits	Mbaïki, quartier Gappa Bordure du puits à 50 cm au-dessus du sol Puits peu utilisé. Détritus au fond	NA* ²	50	X		3	97	468
P2	Puits	Mbaïki, quartier Bombolet II Bordure du puits à 60 cm au-dessus du sol	NA	60	X		4	99	458
P3	Puits	Mbaïki, quartier Bombolet II Bordure du puits à 100 cm au-dessus du sol	NA	100	X		5	100	458
P4	Puits	Mbaïki, quartier Bombolet II, Concession de Fidèle Baya Bordure du puits à 55 cm au-dessus du sol Piézomètre Orpheus n°00Mbaiki-49 - programmé le 3/12/2010 à 17h30 pour un enregistrement toutes les 12h - installé le 4/12/2010	870	55	X	X	6	102	463

*¹ Tube = Tube PVC crépiné inséré dans un trou effectué par une tarière

*² NA = non mesuré

*³ Hauteur bordure = hauteur de la bordure du puits ou du tube PVC par rapport au sol.

*⁴ Suivi manuel = Mesure mensuelle de la hauteur de la nappe avec une sonde lumineuse

4.3. PROSPECTION NAPPES PHREATIQUES ET INSTALLATION PIEZOMETRES

L'époque de la campagne WP3-1 (décembre) correspond à la saison sèche (Fig. 2, Fig. 3).

4.3.1 Mbaiki (Fig. 5)

Nous avons travaillé sur le dispositif ARF de Mbaiki/Boukoko (Photo n°7) et dans différents quartiers du village de Mbaiki.

a) Aspects hydriques :

La zone d'étude est caractérisée par des reliefs interfluviaux légèrement vallonnés.

Nous avons identifié 4 puits (P1 à P4) dans différents quartiers du village de Mbaiki (Tab. 2).

- P1 est rempli de débris de branchage et n'est quasiment plus utilisé si ce n'est pour laver des casiers de séchage du manioc.

- P2 est dans le quartier de Bombolet II.

- P3 est aussi dans le quartier de Bombolet II, de l'autre côté de la route par rapport à P2. Il se trouve à proximité de la rivière Ipembé, qui est pérenne et devrait correspondre au toit de la nappe alluviale, aux fluctuations saisonnières près. Les deux propriétaires de ces puits nous ont indiqué que l'eau était la plus proche de la surface topographique généralement au mois d'août. Cette hauteur avait baissé d'environ 2 m depuis août 2010.

- P4 se situe dans la concession de Fidèle Baya. Il nous a indiqué que son puits n'est jamais à sec et que son niveau peut varier d'environ 4 m entre les saisons pluvieuses et sèches. Il considère que son niveau lors de notre passage les 3 et 4/12 correspond au niveau de base.

Le samedi 4/12/10, nous avons installé l'orphée mini n°00Mbaki-49 (sonde n°27 30 49) dans le puits P4 (concession de F. Baya). Nous avons programmé le piézomètre du P4 pour un relevé toutes les 12 h afin d'obtenir une mesure de jour et de nuit, sachant que la première sera perturbée par les prélèvements humains et pas la seconde. Le début des prélèvements domestiques au seau commence tous les jours à 6h du matin.

Nous avons mesuré la profondeur de la nappe dans les quatre puits. Elle varie entre 275 cm et 760 cm. (Tab. 3). Cette variation est cohérente avec la distance et la différence de dénivelé entre chacun de ces puits et le cours d'eau le plus proche (Fig. 7). La profondeur de la nappe sera mesurée deux fois par mois par F. Baya avec une sonde lumineuse (Annexe 4).

Tableau 3: Premières mesures du suivi de la profondeur de la nappe.

La profondeur est mesurée par rapport à la surface topographique, après correction de la hauteur de la bordure du tube ou du puits

Date	Profondeur de la nappe (cm) par rapport à la surface topographique					
	Tubes		Puits			
	T1	T2	P1	P2	P3	P4
3/12/2010	Pas de nappe	Pas de nappe	760	465	275	775
4/12/2010	NA	NA	NA	NA	NA	782

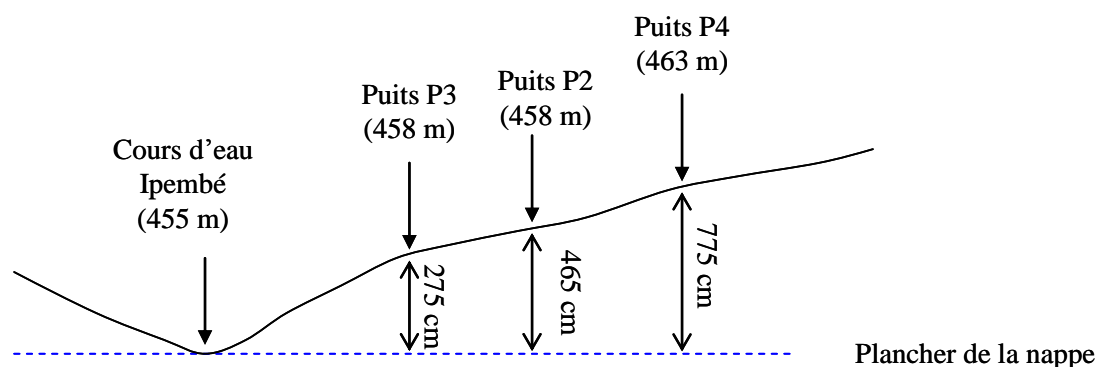


Figure 7 : Illustration du plancher de la nappe lié au cours d'eau Ipembé et des variations de sa profondeur dans les puits. Les altitudes sont issues des relevés GPS.

Nous avons récupéré les données pluies pour la période 2007-2010 (jusqu'au 4/12/10) du pluviomètre de Mbaiki/ARF, situé derrière la case de passage (Photo n°8) et les avons synthétisées (Fig. 2).

b) Aspects Pédologiques

Matériel & Méthodes :

Nous avons effectué deux sondages tarière dans le dispositif ARF de Mbaiki/Boukoko, le premier, Mbaiki-T1, dans la zone tampon de la parcelle 5, à proximité du profil Pr4, et le deuxième, Mbaiki-T2, dans la zone tampon de la parcelle 4, à proximité du profil Pr7 (Freytet 1992, Gourlet et al. 2010) (Tab. 2, Annexe 5). Nous avons prévu de réaliser ces sondages tarière jusqu'à 5 m de profondeur. En pratique, la présence d'éléments grossiers ne nous a pas permis d'aller au-delà de 1m70 pour le sondage Mbaiki-T1 et 2 m pour le sondage Mbaiki-T2. Toutefois, ces sondages nous ont permis de compléter la description des profils Pr4 et Pr7 qui avaient été réalisés jusqu'à 1m30 de profondeur.

Ces deux sondages correspondent aux unités de sols 23 et 21 qui sont classés comme des sols ferrallitiques typique modaux ou profonds (Freytet 1992). Ils représentent respectivement 1,3% et 45,5% des sols présents sur le dispositif et peuvent être considérés comme les plus profonds (au sens de « favorables à l'enracinement ») du dispositif de Mbaiki (Tab. 4).

Dans ces deux sondages, nous avons placé des tubes PVC de 4 cm de diamètre, préalablement crépinés, afin de pouvoir enregistrer les éventuels battements de nappe. Ces mesures seront effectuées mensuellement par F. Baya (Annexe 4).

Résultat sondage Mbaiki-T1

Description : Ce sondage est similaire au profil Pr4 jusqu'à 1m30 cm : sol sablo-argileux, couleur jaune-rouge. A partir de 1m50 nous avons observé des taches rouges très marquées et, à partir de 1m70 la présence de cailloux de quartz. Une termitière (hauteur : 130 cm, diamètre : 5 m) se trouve à une dizaine de mètres de ce sondage.

Interprétation : Les taches à partir de 150 cm suggèrent la présence d'une hydromorphie temporaire qui pourrait être due à la présence d'une nappe perchée en saison des pluies reposant sur un lit de cailloux de quartz. La topographie (plateau) et la présence de termitières aux alentours¹ sont des indices qui confortent cette interprétation. La présence de cette nappe

¹ Deux autres termitières de taille importante (hauteur : 350 cm ; diamètre : 20 m) ont aussi été observées sur le layon nord de la parcelle 5, sur l'unité de sol 2.3 (Freytet 1992) à laquelle on peut rattacher le profil Pr4 et le sondage Mbaiki-T1. La présence de termitières indiquent généralement la présence d'eau en profondeur.

perchée en saison des pluies conduirait par capillarité à un sol souvent humide en saison des pluies jusqu'à la surface, ce qui expliquerait la couleur de ce sol qui tend vers le jaune, caractéristique de la goethite, oxyde de fer hydraté.

Résultat sondage Mbaiki-T2

Description : Ce sondage est similaire au profil Pr7 : sol sablo-argileux de couleur rouge. A partir de 1m70, nous avons observé des graviers de cuirasse qui deviennent abondants vers 2m. Nous n'avons pas observé de taches.

Interprétation : L'absence de taches et la couleur rouge typique de l'hématite, oxyde de fer déhydraté, indique a priori et l'absence d'une nappe perchée et un bon drainage.

Tableau 4 : Surface des différentes unités de sol du dispositif de Mbaïki.

Les surfaces ont été calculées sur SIG d'après la carte des sols de Freytet (1992).

La profondeur associée à chaque unité de sol correspond à la profondeur favorable à l'enracinement.

En-dessous de cette profondeur, l'enracinement est contraint par un horizon gravillonnaire, une cuirasse ou bien de la roche.

Unité sol	Surface		Profondeur
	Totale (ha)	Relative (%)	(cm)
1	4,70	11,8	25
21	18,20	45,5	200
22	1,02	2,6	200
23	0,51	1,3	200
311	5,92	14,8	50
312	0,83	2,1	50
313	0,33	0,8	50
321	7,11	17,8	120
322	0,90	2,3	120
333	0,33	0,8	120
41	0,07	0,2	25
42	0,07	0,2	25
Total	39,99	100	
Moyenne pondérée par la surface			136

Discussion

Le sondage Mbaiki-T1 devrait être caractérisé par la présence d'une nappe perchée en saison des pluies qui remonterait jusqu'à environ 1m20 de la surface topographique (limite supérieure de la présence de taches). En saison sèche, cette nappe perchée se trouverait en moyenne vers 8 m de profondeur (MMEH 2000 cité dans MMEH 2009).

Par contre, le sondage Mbaïki-T2 ne devrait pas être affecté par la présence d'une nappe perchée au moins entre la surface et 2 m de profondeur.

Le suivi dans le temps de ces deux sondages et des puits avec une sonde lumineuse devrait confirmer ces différents points.

4.3.2. Ngotto (Fig. 6)

Au sein de la concession ECOFAC, nous avons été reçu par Mr Jean-François Mokosse-Atendele (Chef du Volet Développement rural du projet ECOFAC IV) et hébergé dans une case de passage.

a) Aspects hydriques :

La physiographie générale évoque un contexte de type des plateaux Batékés (Congo), soit un terrain vallonné constitué de formations sablonneuses de plusieurs dizaines de mètres de dénivelé propices au maintien d'aquifères puissants. La présence en début de saison sèche de sources claires au pied de ces dénivelés (ex. celle de Ngotto/ECOFAC) en est un témoin (Photo 14). La nappe phréatique semble profonde (à plusieurs dizaines de mètres de la surface), ce qui a justifié que nous n'avons pas pu y installer des piézomètres.

La traversée de la forêt en limite de la concession de l'IFB se trouve sur des terrains sableux de la formation des grès de Carnot. Le relief interfluve serait de l'ordre de 150 m de dénivelé. En zone basse au niveau d'un pont qui chevauche un petit cours d'eau, nous avons noté une eau claire typique de celle des plateaux Batékés (Congo) et la présence de blocs de gneiss (Photos n°15 et 16). Cela laisse penser qu'il s'agit du niveau de base du cours d'eau, bloqué dans son enfoncement par cette formation rocheuse (Fig. 8) et que son débit d'étiage est maintenu par une nappe avoisinante dont la profondeur, la puissance et le marnage restent à déterminer.

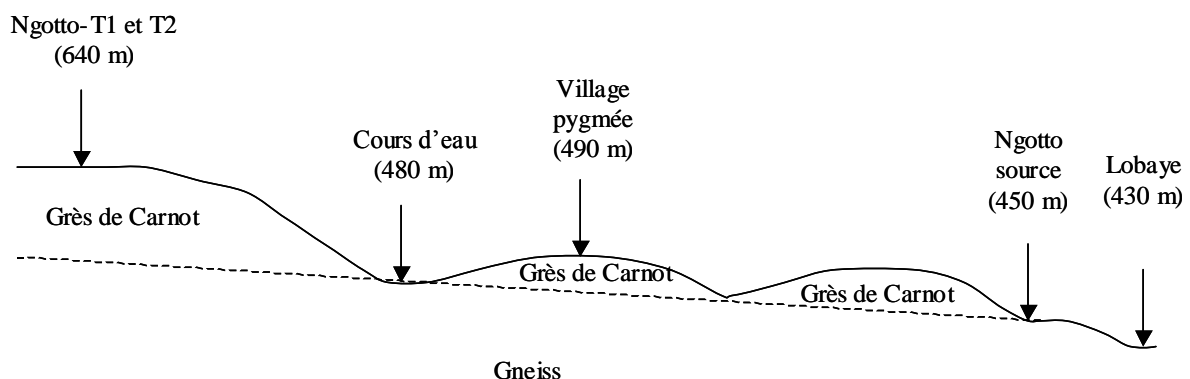


Figure 8 : Schéma illustrant la présence de gneiss dans une zone considérée comme grès de Carnot. Les altitudes sont issues de l'image SRTM à 90 m de résolution.

Un pluviomètre se trouve dans la concession ECOFAC. Ce projet s'est achevé le 14 juin 2010 et est en recherche de crédits à la fois pour maintenir en état la concession et pour reprendre des activités de préservation des écosystèmes naturels. Les données pluviométriques ne sont plus enregistrées depuis 3 ans et l'on n'a pas pu récupérer les données antérieures car l'agent responsable était absent. Après d'infructueuses recherches, Mr Zowoya, Directeur d'ECOFAC IV, devait par la suite, nous annoncer que la documentation disponible ne faisait pas apparaître des fiches de relevées pluviométriques. Il a donné des instructions pour que ces relevées soient repris.

Un autre pluviomètre suivi bi-quotidiennement se trouve dans la concession de safari "Buffle Rouge" sur une île fluviale de la Lobaye. Les données collectées de 2007 à 2009 ont été perdues, et la chronique actuelle débute en novembre 2009. Il est toutefois à noter un **arrêt**

annuel de collecte des données en septembre-octobre, époque de congés du personnel.

A noter la présence d'un pluviogramme à Ngotto dans l'ouvrage de Vande weghe, (2004) en page 46, annonçant une pluviométrie annuelle de 1594 mm, avec un pic de saison des pluies en septembre.

Nous avons ensuite visité une source d'alimentation en eau du village de Ngotto, située en bas de versant (Fig. 8).

Pour ce qui est de l'hydrologie, Callède et al. (2010), indiquent que la Lobaye à Ngotto ne bénéficie que de données limnimétriques pour deux années complètes (1973 et 74) et d'une année incomplète (1975).

b) Aspects Pédologiques

Matériels et Méthodes

Nous avons effectué deux sondages tarière jusqu'à 5m de profondeur (Ngotto-T1, Ngotto-T2) à une vingtaine de kilomètres du village de Ngotto, en suivant la route du 4^{ème} parallèle et en essayant de se placer dans un environnement forestier pas trop dégradé, la zone ayant été exploitée par l'IFB.

Résultats

Les sols de ces deux sondages sont similaires à ceux que nous avons observés à Mokabi (nord du Congo) sur grès de Carnot lors d'une précédente mission CoForChange (Gourlet et al. 2010) : sol sableux, brun dans l'horizon de surface puis rouge. En ce début de saison sèche, le sol était sec dans l'horizon de surface puis humide à partir de 1 m de profondeur. Nous n'avons pas observé de taches.

Discussion

Dans les sols sableux de Ngotto, issus de l'altération des grès de Carnot, l'absence de taches et la couleur rouge typique de l'hématite, oxyde de fer déhydraté, indique a priori et l'absence d'une nappe perchée et un bon drainage au moins jusqu'à 5 m de profondeur, même au coeur de la saison des pluies. Ce résultat est cohérent aux études hydrauliques menées en RCA qui montrent la présence, sur grès de Carnot, d'une nappe libre en moyenne à 25 m de profondeur (MMEH 2000 cité dans MMEH 2009).

4.3.3. Mbaiki (grès-quartzite) vs Ngotto (grès de Carnot) :

Notre étude sur les sols suggère l'absence d'une nappe (i) sur les sols majoritaires sablo-argileux rouges de Mbaiki issus de l'altération des grès-quartzites, au moins jusqu'à 2 m de profondeur ; (ii) sur les sols sableux de Ngotto issus des grès de Carnot, au moins jusqu'à 5 m de profondeur. La présence d'une nappe perchée vers 1m50 de profondeur serait possible au coeur de la saison des pluies sur quelques sols minoritaires jaune-rouge de Mbaiki.

Plus généralement, les études hydrauliques menées en RCA (MMEH 2000) montrent une profondeur moyenne de la nappe à 8 m sur les roches non carbonatées précambriennes (ex. grès-quartzites) et à 25 m sur les grès du Mésozoïque (grès de Carnot).

4.4. ETUDE PRELIMINAIRE DE L'ENRACINEMENT DES ARBRES

Matériel & Méthodes

Nous avons profité des quatre sondages tarières effectués à Mbaiki et Ngotto pour recueillir

des échantillons de sol à [0-10 cm], 50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm, 250 cm, 300 cm, 350 cm, 400 cm, 450 cm et 500 cm de profondeur. Le volume de sol prélevé à chaque profondeur était d'environ 785 cm³. Cette série complète de prélèvements a été réalisée pour Ngotto-T1 et Ngotto-T2. A cause de blocage tarière nous avons prélevé seulement jusqu'à 150 cm pour Mbaiki-T1 et 200 cm pour Mbaiki-T2. Rappelons que Mbaiki-T1 et Mbaiki-T2 représentent les sols les plus profonds du dispositif de Mbaiki, donc ceux qui sont les plus favorables à l'enracinement.

Les trois arbres les plus proches des sondages ont été localisés. Cela nous a permis de vérifier que les sondages avaient des environnements comparables (notamment Mbaiki-T2 et Ngotto-T1).

Nous avons trié les racines de la terre prélevée, en s'aidant d'un tamis artisanal utilisé habituellement pour fabriquer le Gozo (manioc). Les racines ont été séchées à l'étuve (105 °C) durant 12h puis pesées à l'état sec.

Résultats (Tab. 5, Annexe 7)

Jusqu'à 2 m de profondeur, la biomasse racinaire est en général plus élevée à Ngotto qu'à Mbaiki.

A Mbaiki, nous n'avons pas pu étudier l'enracinement au-delà de 2 m de profondeur à cause d'un blocage tarière lié à la présence d'éléments grossiers (quartz, cuirasse) en abondance.

A Ngotto, nous avons encore trouvé des racines jusqu'à 5m (Ngotto-T1) ou 4 m de profondeur (Ngotto-T2).

Tableau 5 : Poids des racines à l'état sec (Mbaiki vs Ngotto).
Racines prélevées dans un volume de sol d'environ 785 cm³.

Profondeur (cm)	Poids des racines à l'état sec (g)			
	MBAIKI		NGOTTO	
	T1	T2	T1	T2
0-10	1,77	1,82	2,19	2,40
50	0,48	0,76	1,29	9,79
100	0,46	0,10	0,13	0,44
150	0,14	0,05	2,08	0,07
200	BT* ¹	< 0,01	0,06	0,01
250		BT* ²	0,73	< 0,01
300			0	< 0,01
350			< 0,01	0,01
400			0,76	0,03
450			< 0,01	0
500			0,03	0

BT*¹ : Blocage tarière à 170 cm à cause de graviers de quartz

BT*² : Blocage tarière à 200 cm à cause de graviers de cuirasse

Discussion

A Mbaiki, sur grès-quartzites, bien que nous n'ayons pas pu aller au-delà de 2 m de profondeur, la présence d'un horizon gravillonnaire entre 1m50 et 2 m de profondeur limite très certainement la profondeur maximale d'enracinement des arbres et par conséquent la réserve en eau disponible pour les arbres.

A Ngotto, sur grès de Carnot, nous avons encore trouvé des racines à 4 m ou 5 m de

profondeur. Comme cette profondeur est la limite de notre prospection, on peut supposer que les racines vont au-delà de 5 m de profondeur pour les grès de Carnot. A priori, l'enracinement des arbres n'est pas contraint dans ce type de sol. Par conséquent, la réserve en eau disponible pour les arbres peut être importante, vu le volume de sol exploré en profondeur.

Finalement, cette étude préliminaire de l'enracinement semble confirmer l'hypothèse suivante : les arbres sur sols sablo-argileux issus de grès-quartzites prospectent moins profondément que les arbres sur sols sableux issus de grès de Carnot (au moins un rapport de 1 à 2.5). Conséquence : le volume d'eau disponible pour la plante est certainement plus faible sur grès-quartzites que sur grès de Carnot.

Perspectives

Cette étude préliminaire va être poursuivie en 2011 par une étude plus complète, dans le cadre d'un stage de M1 (Annexe 8). L'ouverture de fosses permettra de vérifier si les deux principales hypothèses issues de cette étude préliminaire sont validées : (i) enracinement limité au-delà de 2 m par un horizon gravillonnaire dans les sols sablo-argileux issus des grès-quartzites (ii) enracinement au-delà de 5 m de profondeur dans les sols sableux issus des grès de Carnot.

Cette étude préliminaire a soulevé quelques problèmes de méthode qui devront être résolus au démarrage du stage de M1 :

- Quelle unité considérer : Biomasse racinaire pour un volume de sol, autre ?
- Tarière classique non adaptée pour prélever un volume constant de sol → choisir une tarière adaptée type « hollandaise ».
- Choix des sondages devra tenir compte du voisinage, les différences d'enracinement pouvant provenir a priori de la distance aux arbres les plus proches, de leur diamètre et de l'espèce.

4.5. SYNTHESE

A priori, les sols sablo-argileux issus de grès-quartzites devraient permettre une meilleure alimentation en eau des arbres comparativement aux sols sableux issus des grès de Carnot : meilleure réserve utile en eau pour une épaisseur de sol donnée (140 mm vs 80 mm pour un profil entre 0 et 130 cm. Gourlet et al. 2010) et présence d'une nappe libre en moyenne moins profonde (8 m vs 25 m. MMEH 2000). Mais cette eau du sol ou de la nappe libre est peu accessible à cause de la présence d'un horizon gravillonnaire, de roches ou bien d'une cuirasse qui limite la profondeur d'enracinement (< 2 m vs > 5 m) (Fig. 9). La profondeur d'enracinement serait donc un facteur clé pour expliquer la présence d'une forêt semi-décidue (une forme d'adaptation à un stress hydrique) sur grès-quartzites et d'une forêt sempervirente sur grès de Carnot. Ces suppositions doivent être validées par une étude plus complète de la profondeur maximale d'enracinement dans ces deux types de substrats.

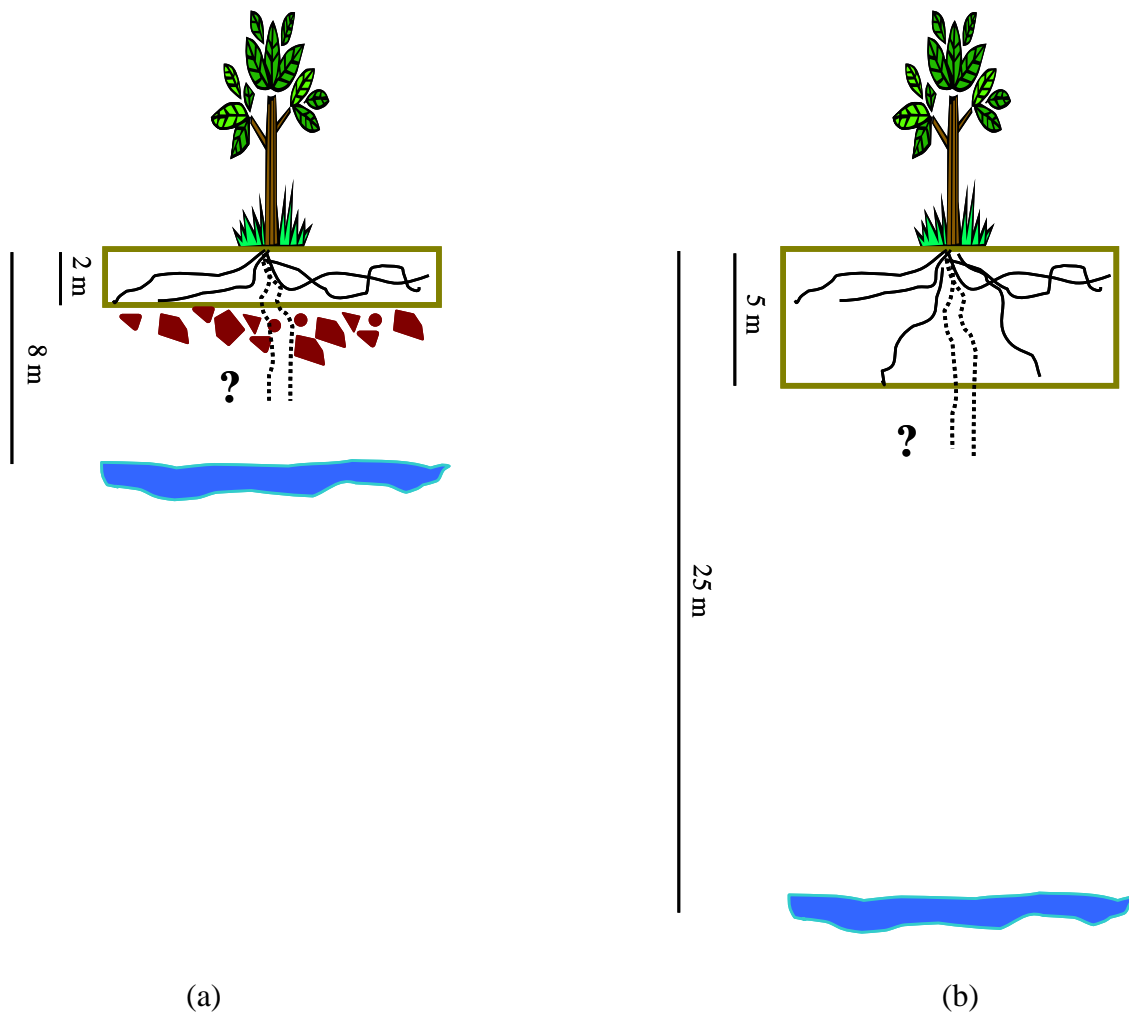


Figure 9 : Schéma illustrant l'état des connaissances actuelles sur l'enracinement et la profondeur de la nappe (a) à Mbaïki, sur grès-quartzites (b) à Ngotto, sur grès de Carnot.

4.6. SUIVI MENSUEL DE LA TENEUR EN EAU A MBAIKI

Lors de la mission CoFoChange de février 2010 en RCA (Gourlet-Fleury et al. 2010) il avait été prévu que soit mesurée mensuellement la teneur en eau de profils de sols qui étaient à proximité des fosses Pr4 et Pr7. Le protocole prévoyait (i) de recueillir 6 échantillons de sol par profil jusqu'à 1m20 de profondeur (ii) de les peser immédiatement après leur prélèvements en forêt (iii) de les sécher à l'air puis dans un four (iv) de les peser à l'état sec. Ce protocole a été réalisé depuis le mois de mars 2010. Le poids des échantillons a été mesuré de mars à juillet 2010 avec une balance Philips (Graduation : 1 g ; Précision = 2g), puis à partir d'août 2010 avec une balance Terraillon (Graduation : 2g quand échantillon compris

entre 0 et 1 kg ; 5 g quand échantillon compris entre 1 et 2 kg).

L'analyse exploratoire des données a permis de mettre en évidence plusieurs problèmes qui limitent l'utilisation du jeu de données complet (Tab. 6).

Tableau 6 : Contrôle qualité des données de suivi de la teneur en eau

Date	Balance	Dysfonctionnement. Valeurs aberrantes	Fiabilité des données
2/3/2010	Philips	1 valeur aberrante : humidité (38%) >> humidité des autres échantillons (entre 10 et 13%)	11/12
3/4/2010	Philips		12/12
4/5/2010	Philips		12/12
16/6/2010	Philips		12/12
10/7/2010	Philips Terraillon	Mesures non répétables avec ancienne balance. Echantillons frais pesés avec la nouvelle balance 1 mois après leurs prélèvements en forêt. Poids sec = Poids frais pour les 12 éch.	0/12
5/8/2010	Terraillon	Poids sec > Poids frais pour 3 éch. Poids sec sous-estimé pour 2 éch. (sol renversé à la sortie du four) 1 valeur aberrante : humidité (A compléter) << humidité des autres échantillons (A compléter)	6/12
9/9/2010	Terraillon	Poids sec > Poids frais pour 1 éch.	11/12
6/10/2010	Terraillon		
3/11/2010	Terraillon		

Nous avons aussi réorganisé le fichier Excel sur lequel sont reportées les mesures de pesée, notamment en faisant correspondre à chaque feuille un seul mois.

4.6. CHARBONS DE BOIS

Matériel & Méthode

Nous avons profité des quatre sondages tarière effectués à Mbaiki et Ngotto et de la pré-étude sur l'enracinement (§. 4.4) pour recueillir des charbons de bois.

Résultats

Des charbons de bois ont été trouvés uniquement à Ngotto-T1 et Ngotto-T2 aux profondeurs suivantes (Annexe 9) :

- Ngotto-T1 : 50 cm, 100 cm, **150 cm (abondants)**, 250 cm.
- Ngotto-T2 : 100 cm, 200 cm, **250 cm (abondants)**, 300 cm, 350 cm, 400 cm, 500 cm.

Ces charbons de bois sont disponibles pour nos partenaires du projet CoForChange en vue d'éventuelles datations au ^{14}C et d'analyses en anthracologie.

4.7. PRELEVEMENTS DE SOLS POUR ANALYSES AU BERYLLIUM

L'origine cosmogénique de l'isotope ^{10}Be du Beryllium permet, en le dosant dans des formations sédimentaires, d'estimer des taux de dénudation du bassin versant, intégrant les taux d'érosion à de grandes échelles de temps (von Blanckenburg, 2005). Cette information pourrait aider à mieux comprendre l'évolution de notre secteur d'étude.

Aussi, dans cette optique, nous avons prélevés un échantillon de 200 grammes au fond du sondage tarière T1 à Ngotto situé à 635 m d'altitude et avons demandé de faire de même aux collègues de l'autre mission COFORCHANGE qui se réalisait parallèlement à la notre. Ses objectifs étaient de prélever des carottes sédimentaires dans des environnements lacustres en RCA, situés à environ 300 m d'altitude, afin d'effectuer des analyses polliniques pour contribuer à la reconstitution des peuplements forestiers. Ils ont pu rapporter 2 échantillons (voir tableau n°7). Mais pour le dosage du ^{10}Be , les échantillons doivent être relativement riches en silice, ce qui ne semble pas trop être le cas de ces sédiments lacustres très organiques. Si les taux de silice le permettent, ces dosages pourront être réalisés par une chercheuse spécialiste en la matière à l'Université de Postam (Allemagne).

Tableau 7: Situation et description des prélèvements pour analyse du ^{10}Be

Code échantillon	Nom lieu collecte	date	Latitude N	Longitude E	Altitude (m)	profondeur (cm)	Epaisseur sédiment (cm)	Colonne d'eau (cm)
T1	Ngotto	6/12/10	4°37'44.51"	17°10'29.60"	635	510		
DKL-KB4	Lac Doukoulou à Bimbo	3/12/10	4°15'07"	18°25'25"	300		14	235
NGG1	Lac Nguengué à Mbaiki	8/12/10	3°46'01"	18°07'14"	300		363	240

5. PARTENARIAT

M. Jean-Laurent Syssa-Magalé, Doyen de la Faculté des Sciences et Olga Yongo, enseignant-chercheur, responsable du Département Science de la Terre, de l'Université de Bangui.

Nous avons été sollicités pour donner une formation en pédologie à l'Université de Bangui, lors de la prochaine année scolaire qui démarre en janvier 2011. Nous avons proposé de donner en avril ou mai 2011 des cours de pédologie aux étudiants de M1 de « Biodiversité » et de « Géologie ». Ces cours seront suivis de travaux pratiques sur le terrain, dans la forêt de Gzala-Bangui.

Nous avons informé notre intention d'encadrer en 2011 un stagiaire de Master de l'Université de Montpellier pour étudier la profondeur d'enracinement des arbres de la forêt tropicale, avec comme terrain d'application la RCA (Mbaiki, Ngotto) (Annexe 8). Ce stagiaire viendra en RCA environ 3 mois (avril à juin). Il serait pertinent de lui associer un stagiaire de M1 de l'Université de Bangui.

A l'avenir, l'IRD pourrait aussi intervenir auprès de l'Université de Bangui pour réaliser des formations sur l'hydrologie dans le cadre du renforcement de la coopération et des échanges scientifiques bilatéraux.

M. Xavier Hénaut et Jean-Philippe Deschamps, attachés de coopération au Service de

Coopération et d'Action Culturelle (SCAC) de l'Ambassade de France

Nous avons brièvement présenté le contenu de notre mission. X. Hénaut et J.P. Deschamps nous ont confirmé que le SCAC peut financer des missions EGIDE, de préférence des missions d'experts qui viennent en RCA pour former des centrafricains et renforcer leurs capacités. Suite à notre mission, un projet d'action a été rédigé par S. Gourlet-Fleury (Cirad) et envoyé au SCAC pour financer trois missions en vue de donner des cours d'écologie (S. Gourlet-Fleury), de statistiques (F. Mortier) et de pédologie (V. Freycon) à l'Université de Bangui.

Alain Laraque a également formulé une demande dans le même sens pour appuyer à la réalisation d'une banque de données hydrologiques pour le SHN centrafricain.

M. Jean-Claude Nambaye, chef de service d'Hydrologie/Hydrogéologie de la Direction Générale de l'Hydraulique

Cette mission nous a permis de démarrer un partenariat informel mais fructueux avec J.-C. Nambaye. Outre qu'il nous a accompagné lors du terrain, il nous a transmis de la littérature grise très intéressante sur les profondeurs des nappes en RCA en fonction du substrat géologique (Feizouré 1996, Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique 2009). C'est aussi lui qui a eu l'idée de suivre la profondeur de la nappe dans les puits de Mbaïki. J.-C. Nambaye s'occupera durant l'année 2011 de récupérer les données enregistrées sur la sonde piézométrique installée à Mbaïki.

Plus généralement, en fonction des besoins (en formation, équipements, acquisition de nouvelles technologies, logiciels, banques de données,...) exprimés par nos partenaires hydrologues susceptibles d'être intéressés par nos recherches et d'y participer, nous allons solliciter l'appui tant de la CICOS dans le cadre du projet Congo-HYCOS, que de l'Ambassade de France pour prendre en charge les déplacements et séjours d'agents hydrologues de l'IRD qui pourraient à terme contribuer au renforcement de leurs capacités.

M. Cyriaque-Rufin Nguimalet, enseignant du Département de Géographie, Fac de Lettres, Université de Bangui

C.-R. Nguimalet fait partie du comité d'organisation d'un colloque international sur « Les problèmes et défis de l'eau et l'adaptation au changement climatique en Afrique » qui aura lieu à Bangui en mai 2011 durant 4 jours. Il recherche des financements pour inviter des conférenciers et les membres du conseil scientifique.

6. FINANCEMENT DE LA CAMPAGNE

Cette campagne du projet COFORCHANGE a été réalisée avec les fonds propres de ce projet.

7. CONCLUSIONS

En 5 jours de terrain, nous avons réalisé 4 sondages tarière dont 2 sont équipés de tube PVC crépinés, repérés 4 puits qui seront suivis bi-mensuellement par F. Baya grâce à la sonde lumineuse, sachant que l'un d'entre eux a été équipé d'un piézomètre automatique enregistrant les variations de niveau d'eau toutes les 12 h. Ces suivis terrain seront couplés et croisés avec ceux de la pluviométrie régionale (3 pluviomètres) mais aussi avec l'estimation des stocks d'eau souterraine via satellites (probablement par gravimétrie et radar). Enfin des comparaisons avec les données historiques issues de la Monographie de l'Oubangui (2009),

devraient permettre à la fois de comprendre le rôle des eaux souterraines sur les peuplements forestiers et leurs évolutions récentes (depuis 1950).

REMERCIEMENTS

Cette mission a pu se réaliser avec succès grâce à l'appui de la Direction Générale de l'Hydraulique à Bangui, dont son responsable Mr Sylvain Guebanda a bien voulu mettre aimablement à notre disposition un 4x4 ainsi qu'un de ses responsables de service et un chauffeur. Elle a également bénéficiée de l'appui de Fidèle Baya et de son équipe de l'ARF de Mbaiki (Antoine-Fred Godendji et André-Marien Ndémaye). Enfin le cuisinier Abel de l'ARF a été très apprécié par nos estomac (ses plats, pas le cuisinier !).

Nos remerciements s'adressent également à Mr Jean-François Mokosse-Atendele (Chef du Volet Développement rural du projet ECOFAC IV) qui nous a accueilli dans la concession ECOFAC lors de notre passage. Evidemment nous n'oublions pas Nicolas Fauvet pour la réalisation sous SIG des cartes qui ont permis la réalisation des Figures 1, 4, 5 et 6 et pour le calcul des surfaces qui ont conduit au Tableau 4.

BIBLIOGRAPHIE

- Callède *et al.*, 2010. Le bassin de l'Oubangui, CDRom – IRD Ed.
- Feizouré C.-T. 1996 Synthèse sur l'hydrologie de la République Centrafricaine. Rapport de mission, janvier 1996, Projet CAF/91/015-CAF/91/C03 « Mise en valeur du secteur de l'eau en république centrafricaine », Bangui.
- Freytet, F. 1992. Annexe n°1 : Etude pédologique. In Rapport d'activité (février 1991 - avril 1992). Travaux de recherche sur l'aménagement des forêts denses humides. Dispositif de Boukoko - La Lolé, M'Baiki (Lobaye) (eds F. Freytet & G. Tandeau de Marsac). Ministère des eaux et forêts, ONF, Projet FAC/ARRF, Bangui.
- Gourlet-Fleury, S., Fayolle, A., Freycon, V., Mortier, F. (2010). Compte-rendu de mission en République Centrafricaine et en République du Congo, 10/02/2010 au 26/02/2010, 31 p. + Annexes, Cirad, Montpellier.
- Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique. 2000. Mise en valeur du secteur de l'eau en République Centrafricaine. 76 p.
- Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique. 2009. Etude d'alimentation en eau potable et d'assainissement des seize chefs lieux de préfectures de la RCA. Phase 3 : Avant-projet détaillé. Volume 3 : Etude d'impact environnemental et social. Version 20 juillet 2009.
- Vandeweghe, J. P. 2004. Forêt d'Afrique Centrale – La Nature et l'Homme, Ed. Lannoo, 367 pa.
- von Blanckenburg, F., 2005. The control mechanisms of erosion and weathering at basin scale from cosmogenic nuclides in river sediment. *Earth and Planetary Science Letters-Frontiers* 237, 462-479.

LEXIQUE

ARF	: Appui à la Recherche Forestière
CICOS	: Commission Internationale Congo-Oubangui-Sangha
CIRAD	: Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement
DGH	: Direction Générale de l'Hydraulique à Bangui
ECOFAC	: ECOSystème Forestier en Afrique Centrale
HYCOS	: HYdrological Cycle Observing System, projet d'appui aux SHN et supervisé par l'OMM
IFB	: Industrie Forestière de Batalimo
IRD	: Institut de Recherche pour le Développement

OMM : Organisation Météorologique Mondiale
PARPAF : Projet d'Appui à la Réalisation de Plans d'Aménagement Forestier
SHN : Service Hydrologique National
WP : Workpackage

**Annexe 1 : Programme détaillé de la campagne WP3-1
du 1 au 9 décembre 2010.**

Mercredi 01 déc.	Jeudi 02 décembre
Voyage aller MPL (7h20)-CDG (11h)-Bangui (17h40)	Am : Bangui : visite ex. Centre ORSTOM, Université de Bangui (O. Yongo, C-R Nguimalet), Projet Ecofac (F. Boyos-Ahoko) et achats matériel pour la mission. Pm : Bangui-Mbaiki en 4x4 (2h)
Vendredi 03 déc.	Samedi 04 déc.
Mbaiki : réalisation de 2 sondages tarière (cf Tab. 3) -Mbaiki-T1 (1,7 m de profondeur) -Mbaiki-T2 (2 m de profondeur) + prélèvement sol pour pré-étude enracinement (T1 et T2) et détermination du Be ¹⁰ (T2) Mesures niveau d'eau dans 4 puits villageois (cf Tab. 3) P1, P2, P3, P4 PM : Rédaction rapport mission	Installation de l'orphée mini n°00Mbaki-49 (sonde n°27 30 49) dans le puitsP4 de la concession de Mr Fidèle Baya. Réorganisation des données pluies de Mbaiki (2007 à 2010) et synthèse. Réorganisation des données "Suivi mensuel de l'humidité du sol" et synthèse. Installation des logiciels d'exploitation des sondes piézométriques Orphée Mini sur le portable de Jean Claude et formation à leur usage. Tri des racines des sondages tarière Mbaiki-T1 et Mbaiki-T2
Dimanche 05 déc. Am : Trajet Mbaiki-Ngotto (4 h) avec arrêt alimentation/courses à Boda Pm : prospection en voiture de la zone Préparer note pour la Lettre n°4 de CoForChange	
Lundi 06 déc.	Mardi 07 déc.
Ngotto : am : réalisation de 2 sondages tarière (Ngotto-T1, Ngotto-T2) jusqu'à 5 m de profondeur + prélèvement sol pour pré-étude enracinement et détermination du Be ¹⁰ . -recherche données pluviométriques à ECOFAC et au Safari 3buffle Rouge" -Rédaction rapport mission PM : retour Ngotto-Mbaiki en 4x4 Tri des racines du sondage Ngotto-T1	AM : à Mbaiki :lecture piézomètre du P4 (Orphée n°49) et récupération données récupération données pluviométriques d'ECOFAC Tri des racines du sondage Ngotto-T2 Protocole "Suivi mensuel de l'humidité du sol" : prélèvement échantillons de décembre et pesée poids frais Réunion avec l'équipe ARF PM : Retour Mbaiki-Bangui en 4x4
Mercredi 08 déc.	Jeudi 09 décembre
Réunion à l'Ambassade de France avec X. Henaut et J.-Philippe Deschamps (SCAC) Réunion à l'Univ. de Bangui avec O. Yongo (Chef Dpt Sciences de la Terre) et J.L. Syssa-Magalé (Doyen Faculté des Sciences) Visite DG Hydraulique Déjeuner avec A. Yambélé (Chef Météo) Visite ECOFAC (F. Zowoya)	Voyage retour Bangui (7h40)-CDG (14h25-18h25)-MPL(19h50)

Annexe 2 : Relevés GPS

Référentiel : WGS84

Modèle : Garmin GPSmap60CSx d'A. Laraque ou de V. Freycon

Id GPS	Type	Caractéristiques	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
21	Case	Mbaïki/ISDR	3,88138	17,96571	480
22	Végétation	Ouverte dégradée vers Ngotto	4,02963	17,19270	
23	Cours d'eau	Avec rochers de gneiss vers Ngotto	4,02908	17,27005	
24	Village pygmée	Pygmée vers Ngotto	4,03159	17,30088	
29	Sondage tarière	Ngotto-T2	4,02970	17,14858	629
31	Sondage tarière	Ngotto-T1	4,02020	17,17489	635
33	Source	Ngotto, bas-versant	4,03118	17,34270	461
34	Cours d'eau	Lobaye, bac de Ngotto	4,05066	17,34507	429
35	Termitières	Entre Ngotto et Boda	4,19222	17,47776	580
36	Termitières	Entre Ngotto et Boda	4,20735	17,47967	591
40	Roches	Entre Boda et Mbaïki	4,13740	17,71986	615
41	Modelé	Entre Bangui et Cameroun	5,58017	17,32376	
42	Modelé	Entre Bangui et Cameroun	8,26708	14,49982	
90	Fosse	Mbaïki/ARF, Parcelle 4, Pr7	3,87043	17,89086	524
92	Fosse	Mbaïki/ARF, Parcelle 5, Pr4	3,87802	17,89112	579
93	Sondage tarière	Mbaïki-T1	3,87788	17,89253	572
94	Sondage tarière	Mbaïki-T2	3,87020	17,89069	587
95	Cours d'eau	Mbaïki, Goudi-Goudi	3,87468	17,90283	533
96	Cours d'eau	Mbaïki, Kaou	3,87748	17,91204	524
97	Puits	Mbaïki, P1, Gappa	3,86779	17,97171	468
98	Cours d'eau	Mbaïki, Bombolet	3,86638	17,97750	445
99	Puits	Mbaïki, P2, Bombolet II	3,86676	17,98167	458
100	Puits	Mbaïki, P3, Bombolet II	3,86642	17,98188	458
101	Cours d'eau	Mbaïki, Ipembé	3,86546	17,98154	455
102	Puits	Mbaïki, P4, Bombolet II, Fidèle Baya	3,86758	17,98182	463

Annexe 3 : Planches photos et légendes



Photo 1 : Sondage tarière Mbaïki-T1 (Id_GPS 93)



Photo 2 : Sondage tarière Mbaïki-T2 (Id_GPS 94)



Photo 3 : Puits 1 (Id_GPS 97)



Photo 4 : Puits 2 (Id_GPS 99)



Photo 5 : Puits 3 (Id_GPS 100)

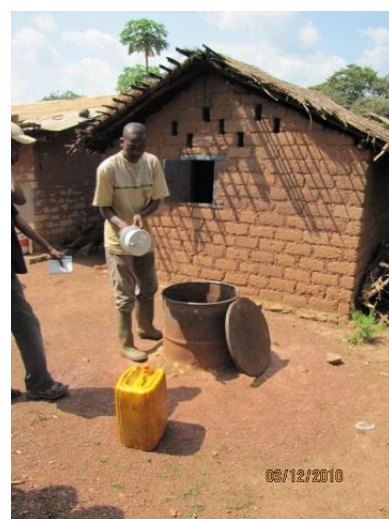


Photo 6 : Puits 4 (Id_GPS 102)



Photo 7 : Plan du dispositif de Mbaïki/ARF



Photo 8 : Pluviomètre de Mbaïki/ARF



Photo 9 : Ruisseau Goudi Goudi – Mbaïki (Id GPS 95)



Photo 10: Ruisseau Kaou - Mbaïki (Id_GPS 96)



Photo 11 : Ruisseau Bombélé – Mbaïki (Id_GPS 98)



Photo 12 : Ruisseau Ipembé - Mbaïki (Id_GPS 101)



Photo 13 : Pluviomètre de Ngotto/ECOFAC



Photo 14 : Source de Ngotto/ECOFAC



Photo 15 : Ruisseau secteur de Ngotto (Id_GPS 23)



Photo 16 : Gneis secteur de Ngotto (Id_GPS 23)








Photo 17 : Sondage tarière Ngotto-T1 (Id_GPS 31)



Photo 18 : Sondage tarière Ngotto-T2 (Id_GPS 29)

Annexe 4 : Tableau de suivi de la profondeur des nappes laissé à Fidèle Baya (Mbaïki)

Relevés mensuels des piezomètres et des puits secteur Mbaiki par Fidel Ba à la sonde électrique en cm							Année 2011
date	T1	T2	P1	P2	P3	P4	Observations
	Tube dépasse du sol	Tube au ras du sol	Gappa	Bombolet 2A	Bombolet 2B	puits Fidel	
							
7-déc-10							
15-déc-10							
1-janv-11							
15-janv							
1er février							
15-févr							
1er mars							
15-mars							
1er avril							
15-avr							
1er mai							
15-mai							
1er juin							
15-juin							
1er juillet							
15-juil							
1er aout							
15-août							
1er sept.							
15-sept							
1er octobre							
15-oct							
1er nov.							
15-nov							
1er déc.							
15-déc							

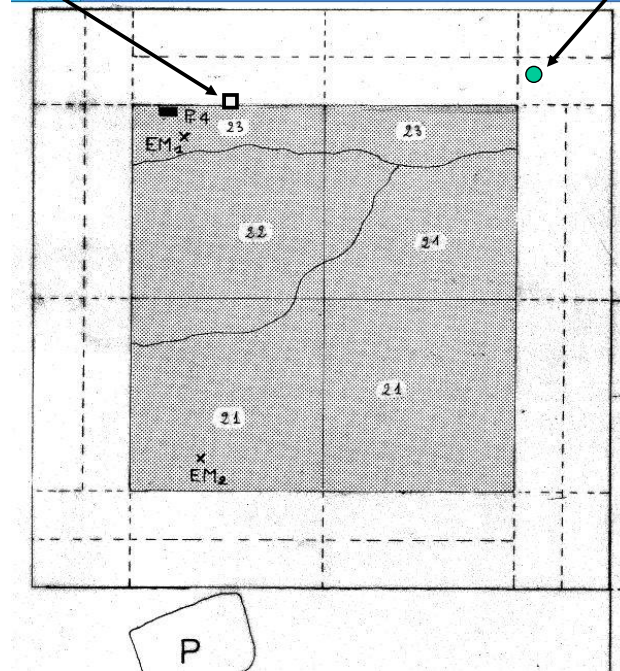
Annexe 5 : Localisation des sondages tarière Mbaiki-T1 et Mbaiki-T2

Fosse Pr4

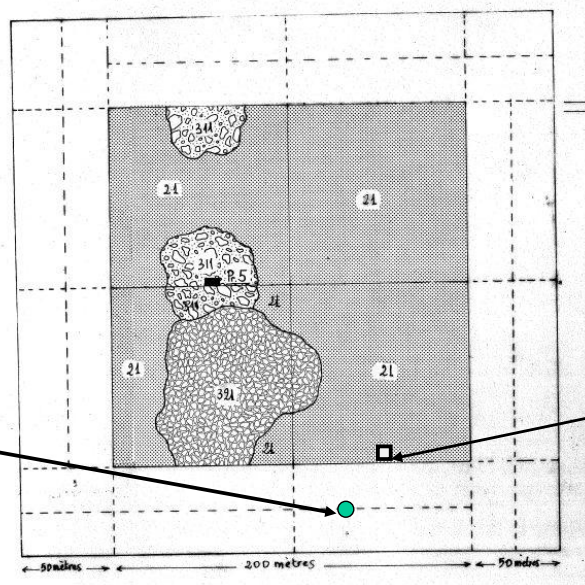


Boukoko, Parcelle 5

Mbaiki-T1



Boukoko, Parcelle 4



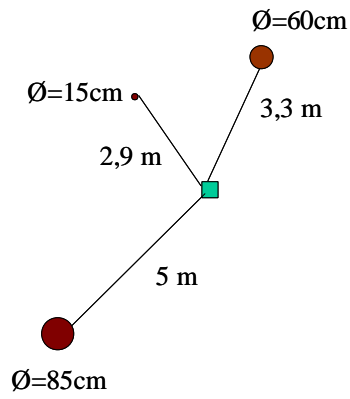
Mbaiki-T2



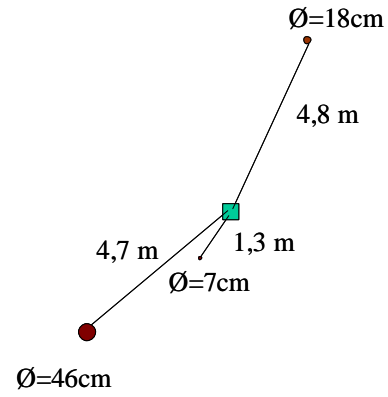
Fosse Pr7



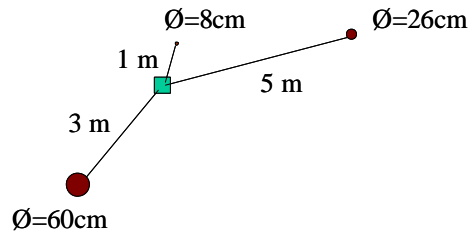
Annexe 6 : Environnement des sondages tarières (Localisation des 3 arbres les plus proches)



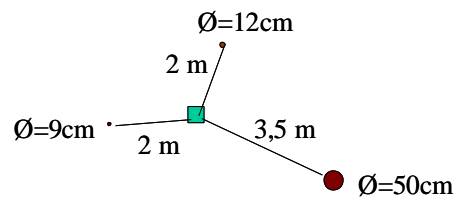
Mbaïki-T1



Mbaïki-T2











































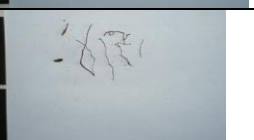



Ngotto-T1



Ngotto-T2

Annexe 7 : Comparaison visuelle de l'enracinement des arbres Mbaïki vs Ngotto.

Profondeur (cm)	MBAÏKI		NGOTTO	
	T1	T2	T1	T2
0-10				
50				
100				
150				
200				
250				
300				
350				
400				
450				
500				

Annexe 8 : Proposition d'un sujet de stage « Profondeur d'enracinement »

Profondeur d'enracinement des arbres de la forêt tropicale humide. Comparaison entre deux types de sols de RCA

(Proposition de stage : version 21 décembre 2010)

Localisation du stage :

CIRAD, UPR Biens et Services Forestiers, Montpellier, Campus international de Baillarguet.
Dispositif de Mbaiki et forêt de Ngotto (RCA)

Niveau : Mastère 2

Durée : 6 mois. Démarrage : 1^{er} trimestre 2011.

Enjeux et résultats attendus

Dans les décennies à venir, il est prévu que le climat du bassin du Congo va connaître une hausse des températures et une augmentation de la sécheresse (diminution du niveau des pluies, allongement de la durée des saisons sèches). Ces évolutions auront des conséquences sur les peuplements forestiers tropicaux, dans la mesure où certaines espèces d'arbres verront augmenter leur probabilité de mourir. En République centrafricaine, environ 50% des peuplements de forêt dense humide se développent sur le substrat des grès de Carnot, réputés particulièrement limités en eau. La conjonction des perturbations liées à l'exploitation (qui ouvrent les milieux et tendent à rendre le micro-climat aérien plus sec) et de l'augmentation de la sécheresse pourrait fragiliser ces forêts.

Ce stage permettra de mieux comprendre comment les arbres développent leur système racinaire dans ces milieux contraints et de mieux apprécier les risques encourus des forêts exploitées, face au changement climatique.

Mots clef : profondeur maximale, enracinement, texture, sol, forêt tropicale humide, Bassin du Congo, Centrafrique

Contexte :

Les racines profondes sont « l'assurance-vie de l'arbre » lors de sécheresses (Drénou 2006). Au sein de la forêt tropicale humide, la profondeur d'enracinement maximale des arbres est de $3,7 \pm 0,5$ m (Max = 4,7 m) pour la forêt décidue et de $7,3 \pm 2,8$ m (Max = 18 m, Nepstad et al. 1994) pour la forêt sempervirente (Canadell et al. 1996). En fait, ces valeurs sont basées sur très peu d'études. Il existe donc un besoin important d'étudier la distribution des profondeurs d'enracinement des FTH et leurs déterminants.

Dans le cadre du projet CoForChange (une zone d'étude de 300000 km² dans le Bassin du Congo), des études en cours montrent que les sols sableux sur grès de Carnot :

- ont, pour une profondeur donnée, une réserve en eau disponible pour les plantes plus faible que les sols sablo-argileux sur grès-quartzites
- portent une forêt sempervirente, adaptée à un environnement humide, au contraire des sols sur grès-quartzites qui portent une forêt semi-décidue, adaptée à un environnement plus sec.

Ces deux résultats apparemment contradictoires peuvent s'expliquer seulement si les arbres qui poussent sur grès de Carnot ont un enracinement plus profond que les arbres qui poussent

sur les autres substrats. Cela doit être vérifié.

Objectifs du stage :

Dans le contexte cité, l'objectif du stage est d'étudier l'enracinement des arbres sur deux types de sols : sols sableux sur grès de Carnot vs sols sablo-argileux sur grès-quartzites.

Hypothèse : l'enracinement des arbres sur grès de Carnot est plus profond que celui des arbres sur grès-quartzites.

Les étapes du stage (Matériel & Méthodes) :

Bibliographie (2 semaines, Montpellier)

Profondeur d'enracinement des arbres en FTH ; les déterminants de la profondeur d'enracinement ; lien entre biomasse racinaire et biomasse aérienne.

Mise au point du protocole de l'étude de la biomasse racinaire (2 semaines, Montpellier)

Contacts avec C. Roumet (CEFE), E. Lucot (Univ. Besançon) et J. P. Laclau (Cirad)

Terrain (3 mois, RCA)

Repérage des zones d'étude de Mbaiki et Ngotto (si nécessaire : mesure des arbres - diamètre, hauteur, espèce) et choix de l'emplacement des fosses dans des peuplements comparables.

Réalisation de 4 sondages tarière jusqu'à 10 m de profondeur au niveau du futur emplacement de chacune des deux fosses. Prélèvement d'échantillons de terre sur une profondeur de 10 cm tous les 50 cm suivant le protocole de Sternberg et al. (1998) → tri des racines → séchage et pesée.

Ouverture de deux fosses de 5 m de profondeur, l'une sur grès de Carnot (Ngotto), l'autre sur grès-quartzite (Mbaiki).

Etude de la biomasse racinaire en fonction de la profondeur, soit par une mesure directe (prélèvement d'un volume de terre lors de l'ouverture de la fosse → tri des racines → séchage et pesée), soit par une mesure indirecte (comptage du nombre d'impact des racines sur une face de la fosse)

Analyse de données (1 mois, Montpellier)

Etude, à partir des prélèvements « fosses » et « tarières » jusqu'à 5 m de profondeur, de la relation entre la biomasse racinaire « fosse » et biomasse racinaire « tarière ».

Prédiction de la biomasse racinaire « fosse » à partir des biomasses racinaire « tarière » entre 5 et 10 m de profondeur.

Rédaction du rapport (1 mois, Montpellier)

Bibliographie

Canadell, J., Jackson, R.B., Ehleringer, J.B., Mooney, H.A., Sala, O.E., & Schulze, E.D. (1996) Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia*, **108**, 583-595.

Drénou, C. coord. (2006) Les racines. Face cachée des arbres. Institut pour le Développement Forestier, Paris, 335 p.

Nepstad, D.C., De Carvalho, C.R., Davidson, E.A., Jipp, P.H., Lefebvre, P.A., Negreiros,

G.H., Da Silva, E.D., Stone, T.A., Trumbore, S.E., & Vieira, S. (1994) The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. *Nature*, **372**, 666-669.

Schenk, H.J. & Jackson, R.B. (2002) The global biogeography of roots. *Ecological Monographs*, **72**, 311-328.

Sternberg, L.D.L., Green, L., Moreira, M.Z., Nepstad, D., Martinelli, L.A., & Victoria, R. (1998) Root distribution in an Amazonian seasonal forest as derived from delta C-13 profiles. *Plant and Soil*, **205**, 45-50.

Compétences (recherchées du stagiaire et/ou développées durant le stage)

Goût pour le terrain

Connaissance en pédologie et en écologie/agronomie

Expérience de la modélisation

Responsables

Encadrant principal Montpellier : Vincent Freycon, pédologue (vincent.freycon@cirad.fr)

Encadrante principale RCA : Olga Yongo, professeure à la Faculté des Sciences de Bangui, pédologue (à identifier) de la Faculté des Sciences de Bangui, Adeline Fayolle (MAE, projet ARF)

Co-encadrante: Sylvie Gourlet-Fleury (sylvie.gourlet-fleury@cirad.fr)

Annexe 9 : Echantillons de charbons de bois observés et prélevés en vue d'éventuelles datations au ^{14}C et analyses d'anthracologie

Id charbon	Lieu	Tarière	WGS84		Profondeur (cm)	Prélèvement
			Longitude (°)	Latitude (°)		
1	Ngotto	T1	17,17489	4,02020	50	oui
2					100	oui
3					140-150	oui
4					150	oui
5					250	oui
6	Ngotto	T2	17,14858	4,02970	100	non
7					200	non
8					240	oui
9					250	oui
10					300	oui
11					350	oui
12					400	non
13					500	oui

NB : Les échantillons de charbons de bois prélevés ont été conservés par V. Freycon